

## 人が消える地下街パノラマビューアの開発

新井 イスマイル<sup>†1</sup> 堀 磨 伊 也<sup>†2</sup> 河 合 紀 彦<sup>†2</sup>  
安 部 陽 平<sup>†1</sup> 市 川 昌 宏<sup>†1</sup> 里 中 祐 輔<sup>†1</sup>  
新 田 竜 規<sup>†1</sup> 新 田 知 之<sup>†1</sup> 藤 井 陽 光<sup>†1</sup>  
向 井 政 貴<sup>†1</sup> 堀 見 宗 一 郎<sup>†1</sup> 牧 田 孝 嗣<sup>†2</sup>  
神 原 誠 之<sup>†2</sup> 西 尾 信 彦<sup>†1</sup> 横 矢 直 和<sup>†2</sup>

ナビゲーションアプリケーションをより便利にするには地図だけではなく、背景写真が閲覧可能になることが望まれている。従来の屋外のパノラマビュー撮影の位置情報取得は GPS が利用できたため比較的容易に実現できたが、屋内では GPS が利用できない問題がある。また、屋内公共空間は人が絶えずいるため、混雑エリアでは例えプライバシーを考慮してぼかしたとしても、ぼかしの割合が多く風景写真としての価値を損ねる。そこで我々は背景差分法を活用して人を消し、その撮影時間に人手で正確な位置を入力する撮影手法を提案し、日本でも有数の混雑地域である梅田地下街において、人のいないパノラマ写真を生成することに成功した。

### Underground city panoramic viewer systems which subtracts crowded pedestrians

ISMAIL ARAI,<sup>†1</sup> MAIYA HORI,<sup>†2</sup> NORIHIKO KAWAI,<sup>†2</sup>  
YOHEI ABE,<sup>†1</sup> MASAHIRO ICHIKAWA,<sup>†1</sup>  
YUSUKE SATONAKA,<sup>†1</sup> TATSUKI NITTA,<sup>†1</sup>  
TOMOYUKI NITTA,<sup>†1</sup> HARUMITSU FUJII,<sup>†1</sup>  
MASAKI MUKAI,<sup>†1</sup> SOICHIRO HORIMI,<sup>†1</sup> KOJI MAKITA,<sup>†2</sup>  
MASAYUKI KANBARA,<sup>†2</sup> NOBUHKO NISHIO<sup>†1</sup>  
and NAOKAZU YOKOYA <sup>†2</sup>

Toward a really useful navigation system, utilizing spherical panoramic photos with maps like Google Street View is efficient. Users expect the system to be available in all areas they go. Conventional shooting methods obtain the



図 1 Gooraffiti のスクリーンショット

shot position from GPS sensor. However, indoor areas are out of GPS range. Furthermore, most urban public indoor areas are crowded with pedestrians. Even if we blur the pedestrians in a photo, the photos with blurring are not useful for scenic information. Thus, we propose a method which simultaneously subtracts pedestrians based on background subtraction method and generates location metadata by manually input from maps. Using these methods, we achieved an underground panoramic view system which displays no pedestrians.

### 1. はじめに

GPS 搭載の携帯端末が普及し、街中での位置情報検索、ナビゲーションアプリの開発が

<sup>†1</sup> 立命館大学

Ritsumeikan University

<sup>†2</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

盛んである。いずれにおいても現在地周辺のコンテンツをいかに分かりやすくユーザーに見せるかが課題となっている。現状最も利用されている手法は地図上にアイコンを表示することでコンテンツの地理的関係を表現するものであるが、地図がユーザーの視点ではなく俯瞰視点であるため、直感性に欠ける問題があった。

これらの問題に対して、最近では Google Street View<sup>1)</sup> や Microsoft Bing Maps<sup>2)</sup> の Street Side、earthmine<sup>3)</sup> といった、街中で撮影したパノラマ写真を位置に基づいて表示するパノラマビューアが登場し、街中の詳細の情景が得られるようになった。これによって地図によるナビゲーション中に左右折等の方向転換する時や、目的地周辺にたどり着いた時にさらに建物の入り口等の詳細な情報を付加することができるようになった。我々もこのパノラマビューアの直感性に注目して、パノラマ写真上に位置コンテンツを表示したり登録したりできる実世界指向 CMS (Contents Management System) である Gooraffiti<sup>4),5)</sup> を開発してきた (図 1)。独自のレンダラー<sup>6)</sup> によってアイコンや異なる時間帯の写真をパッチングすることによって豊富な情報を直感的に閲覧することができる。このような街中パノラマビューアを作成するには、位置情報付パノラマ写真の確保が必要となる。既存のパノラマ写真は GPS と全方位カメラを搭載した自動車で行くことによって効率的に位置情報付パノラマ写真を収集している。しかし、GPS 圏内で撮影された写真に限定されるため、建物の中や地下街といった屋内公共空間の位置情報付パノラマ写真の収集ができない。今後、携帯端末での歩行者ナビゲーションの需要が高まるにつれ、このような屋内のパノラマビューアが提供できないことは歩行者ナビゲーションの普及の障害となる。また、屋内公共空間は車道と比べて歩行者が多く、これら歩行者のプライバシーの考慮も課題となる。現状のパノラマビューアは人の顔を画像解析で検出しぼかし処理することによって歩行者のプライバシーを保護しているが、混雑した屋内公共空間で同様の手法を取ると、ぼかしだけのパノラマ写真になってしまう可能性がある。

これらの問題を踏まえて、我々は各撮影地点で一定時間滞在して動画を撮影し、再頻度のピクセルを採用することによって動物体である歩行者を除去する撮影手法を提案した。屋内での位置情報取得は歩行者を背景差分画像処理によって除去し、背景写真のみを保存するパノラマ写真撮影手法を提案する。そして、この一定時間の滞在中に地図上に位置を手入力することによって屋内測位の問題を解決した。我々は実際に大阪・梅田周辺地下街の混雑地域を実験フィールドとして、提案手法に基づいた撮影システムによって撮影し、歩行者を除去したパノラマ写真を 5m 間隔の粒度で閲覧できるパノラマビューアを作成できることを確認した。

以降、2 章では本撮影手法の詳細を述べる。3 章にて実証内容および作成したパノラマビューアの詳細を述べ、4 章で本論文をまとめる。

## 2. 屋内公共空間パノラマ写真撮影の課題および解決手法の提案

街中パノラマビューアを実現するためには、パノラマ写真と撮影位置を記録する必要がある。既存のパノラマ写真撮影手法は 1 章でも述べたように、GPS を用いているため屋内の撮影が出来ない。さらに、プライバシーを考慮して歩行者をぼかすと混雑地域ではパノラマ写真がぼかしだらけになってしまいコンテンツの価値が低下する恐れがある。本章では、まず歩行者のプライバシー問題を第一に解決して、その上で現実的に撮影位置を記録する手法を提案する。なお、Google Street View は約 10m 間隔のパノラマ写真を公開しているが、屋内公共空間では店舗等の密度がより高いため、パノラマ写真の生成間隔がより狭いことが望ましい。本研究では 1 店舗の横幅が概ね 5m 程度であることから、5m 間隔でパノラマ写真を現実的なコストで位置情報と共に記録することを目標とする。

### 2.1 歩行者の除去と死角の補完

屋内公共空間では、撮影者は歩行者を自由にコントロールできない。歩行者が撮影写真に写ってしまった場合はプライバシーを考慮して個人を特定できない状態にする必要があるが、先ほども述べたように歩行者をぼかす手法では混雑地域でパノラマ写真のコンテンツ価値が低下する。人がいない深夜早朝時間帯に撮影する手法も考えられるが、店舗も閉まっているためシャッター街のようなパノラマ写真になってしまい、これもコンテンツ価値が低下してしまう。そこで本手法では 1 箇所にしばらく滞在して数百フレームの動画を保存し、背景と思われるピクセルを採用した合成写真を生成する。屋内公共空間では照明が十分に配置されているため、輝度の分布を考慮すると多くの場合、歩行者の輝度が中央値よりも低い値であることに着目し、各ピクセルで最も明るいものを選択することで背景写真が合成できると予測する。歩行者を除去するために必要な滞在時間は混雑具合によって異なるため、撮影者の判断によって 20 秒～120 秒の範囲で適宜設定する。

また、全天球パノラマカメラの多くは下部に四角があり、本研究で使用する Ladybug3<sup>\*1</sup> も同様の死角がある。死角のあるパノラマ写真をそのまま閲覧すると、臨場感に問題が発生する可能性があるため、過去に提案した欠損修復手法<sup>7)</sup> によって死角を埋めたパノラマ写真を生成する。他の滞在撮影ポイントでは死角領域を撮影できているため、その対応部分を抽

\*1 <http://www.ptgrey.com/products/ladybug3/>

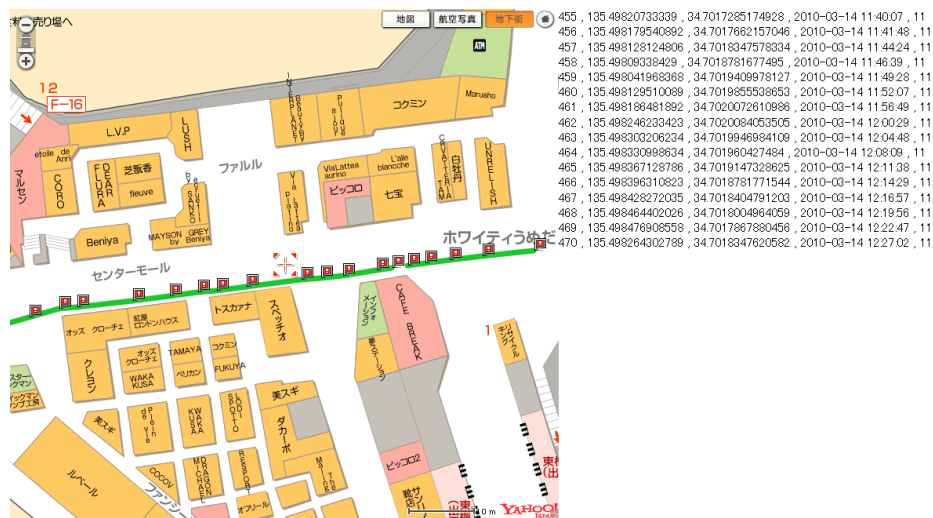


図 2 撮影ツールのスクリーンショット

出し変形してマッピングすることで死角部分のテクスチャが得られる。今回の地下街の撮影では上にも述べた滞在箇所を (1) 5m 間隔に置く、(2) カメラの高さが変化しない、そして (3) 平坦な廊下を直進するという前提を考慮することで比較的容易に他のパノラマ写真から死角の対応点を推測できる。

## 2.2 メタデータの作成

パノラマ写真を位置コンテンツとして閲覧可能にするためには、各パノラマ写真の緯度・経度といった位置座標を撮影時に記録する必要がある。これによってユーザが指定した位置に合ったパノラマ写真を閲覧することができる。また、隣のパノラマ写真へと延びる軌跡をパノラマビューア上に描くことができる。

屋内測位手法としては Wi-Fi 測位<sup>8)</sup>、ビーコン<sup>9)</sup> やマーカーを用いた測位が代表的だがいずれも目的に合わない。Wi-Fi 測位は大抵の場所でアクセスポイントが観測できるため、インフラ構築コストが低いため現実性がある。しかし、精度は AP の密度や建物の構造に依存し、環境によって極端に差が出るため、常に 5m 程度の精度で測位することは難しい。ビーコンを用いた測位はセンチメートル単位の精度が期待できるが、ビーコンを建物中に設置するコストが高く現実性に欠ける。したがって、現状の屋内公共空間で目的を満たす精度の屋

内測位手法は存在しないと言える。その他に、撮影機材にレーザレンジファインダを取り付け測距情報を記録し、撮影後にそれらセンサデータを解析して 3D モデル空間を作成し、その場の地図・設計図との対応関係を抽出することで撮影地点を見出す手法も考えられるが、屋内公共空間では扉のない店舗が多いため、地図上の間取り通りの壁が存在することはほとんどなく、さらに店舗に陳列した商品等も障害物となるため、目的の測位精度は期待できない。

そこで、我々は撮影時に Web アプリケーション上の地図に撮影地点を手入力して位置情報を記録することにした。撮影対象の大阪・梅田周辺地下街の詳細な地図<sup>10)</sup> を Yahoo!地図が提供しており、API を介した Web アプリケーションも構築可能となっている。店舗の名前と境界線が分かるため、熟練の撮影者であれば十分に的確な位置を認識できる。作成する位置情報入力ツールを図 2 に示す。地図上で撮影箇所をクリックすると、地図上に旗のアイコンが現れ、右側にクリックした位置座標と時刻が記録される。この時刻とパノラマ写真に残る撮影時刻を同期することで撮影したパノラマ写真に対して位置座標を付加することができる。また、位置記録前に前記録地点からの軌跡をプレビューすることによって、直進時になるべくまっすぐの軌跡を描けるようにした。

また、Wi-Fi 測位精度は悪いと予測しているが大阪・梅田周辺地下街で検証した経験がないため、撮影中に Wi-Fi の基地局観測情報を記録することにした。また、本論文の目的には含まれないが、今後のセンサデータマイニングの活用を期待して可能な限りセンサ情報を記録することにした。Android 端末を 5 台所持し、Wi-Fi 基地局観測情報、周辺 Bluetooth 機器の検索結果、加速度センサ、地磁気センサを常時記録した。

## 3. パノラマ写真撮影

大阪・梅田周辺地下街でパノラマ写真の撮影を行った。全長は 6.4km あり、そのうち 2.2km が撮影完了した。5m 間隔ずつ停止して混雑状況に応じて撮影者の判断で 20 秒～120 秒の停止撮影を行ったため、合計 15 時間程度の撮影時間となった。撮影停止箇所は 447 箇所となった。撮影機材は図 3 に示す通り、台車の最上部に三脚を固定してその上に Ladybug3 を設置した。高さは 1.8m 程度になり、この高さから撮影すると台車および操作者はカメラの死角にちょうど入り込む。中段にはパノラマ写真の記録と撮影ツールが動作するノート PC を設置した。Ladybug3 は解像度が 1600 x 1200 のカメラを 6 台搭載しており、IEEE1394b 経由で最大 15fps のフレームレートで撮影できるため、これに十分対応できる書き込み速度の RAID 構成による SSD を用いた。最終的に合成するパノラマ写真の解像度は 5400 x

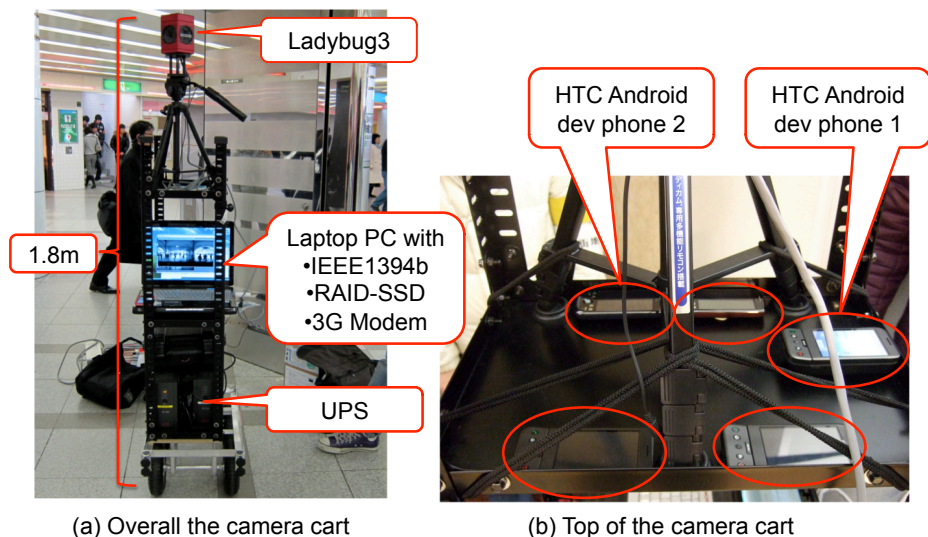


図 3 撮影機材

2700 の正距円筒画像になる。撮影ツールは Web アプリケーションのため、b-mobile 3G を用いて常時インターネット接続性を確保した。下段には UPS を設置している。ノート PC のバッテリーは撮影時に 1 時間程度しか持たないため、バッテリー交換時に PC をシャットダウンさせないために UPS からノート PC に給電した。

### 3.1 地下街パノラマビューアの構築

図 4 の通り、加工された画像と、生成したメタデータを DB とするパノラマビューアを構築した。クライアントは Yahoo 地図に位置を伝えてその場の地図を得る。そして、サーバに位置を伝えてその場のパノラマ写真を取得する。PC ブラウザ用クライアントのスクリーンショットを図 5 に示す。ブラウザ上での 3D 描画は Google より提供されている O3D[5] を利用した。Google Street View と同様、パノラマ写真上にオーバーレイ表示する道路をクリックして隣接するパノラマ写真に移動することができる。また、地図上のキャラクタをマウスのドラッグ&ドロップ操作で移動すると、その箇所の最寄りのパノラマ写真を閲覧できる。2.2 節の手法によってパノラマ写真のメタデータを生成した結果、地図上の軌跡の通り撮影ルートと同じ軌跡が描かれた。また、近接の撮影ポイントを繋いで軌跡を描画する実装をしたため、地図の左側のような 2 パスで撮影した広い廊下では、はしご上の軌跡が出来

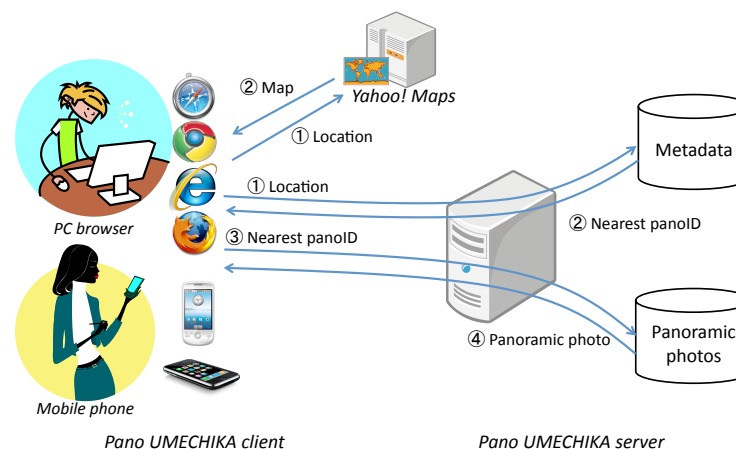


図 4 パノラマビューアの概要

上がった。スマートフォンでも 3D 描画が可能のため、iPhone と Android 用のクライアントをそれぞれ作成した (図 6)。比較的高性能とはいえ、携帯端末はメモリ容量が少ないため、パノラマ写真を PC ブラウザと同様の解像度で再生することはできなかったため、896 x 512 のテクスチャ画像にサーバ側で縮小して保存したものを利用した。とはいえ、スマートフォンの解像度に対して十分明瞭な画像が再生できている。

### 3.2 歩行者の除去および死角の補完結果

図 7 (a) に混雑箇所では撮影したパノラマ写真の元画像を示す。ほとんどの領域が人で埋まっていることが分かる。もしこの歩行者にぼかし処理をかけるとぼかしだらけのパノラマ写真が出来上がり、コンテンツとして価値が下がることが明らかである。図 7 (b) の通り、提案手法によってほとんどの歩行者を除去できた。撮影時間が限られていることもあり最大 120 秒の待機としたが、待ち合わせ等で数分間動かない人がいくらかいたため、その人たちは除去ができなかった。とはいえ、顔が 120 秒間全く動かない人はほとんどいないため、顔は同手法によって自動的にぼかす効果が得られた。これによって人物を特定できない程度のプライバシー考慮はできている。

図 8 (a) に下を向いた時のパノラマ映像の元画像を示す。Ladybug3 が下方にカメラを持たないため、大きな黒い死角が出来ている。図 8 (b) に欠損領域を補完した結果を示す。これによって真の全天球パノラマ写真が生成できた。色調の違いが出てはいるが、タイルの溝



図 5 ブラウザ上で動作する地下街パノラマビューア



(a) Pano umechika for iPhone

(b) Pano umechika for Android

図 6 スマートフォン上で動作する地下街パノラマビューア

は自然に繋がっていることから適切な座標でマッピングが出来ていることが確認できる。

### 3.3 メタデータの有効性

撮影時に自動取得した Wi-Fi 基地局観測情報から大阪・梅田周辺地下街での Wi-Fi 測位の実現可能性について検証する。撮影期間中の基地局観測履歴の総数は 17,762 個になった。これは移動中および、歩行者除去のために一時滞在している時に繰り返し観測したものを全てを含む。観測した基地局のユニーク数は 335 個となった。各滞在地点に置いて観測された



(a) Before pedestrian subtraction



(b) After pedestrian subtraction

図 7 歩行者除去結果

基地局をパノラマ写真に紐づけた結果、430 枚のパノラマ写真のうち 219 枚と半数にしか Wi-Fi 基地局観測情報が紐づけられなかった。半数の地点でしか Wi-Fi 測位が動作しない上、残りの地点でも BSSID と RSSI の対応関係が同様の分布になっている箇所ではどちらの撮影地点付近であるかが区別できないため、多くの地点では Wi-Fi のみを用いてその場のパノラマ写真を的確に取得することは困難だと予想される。

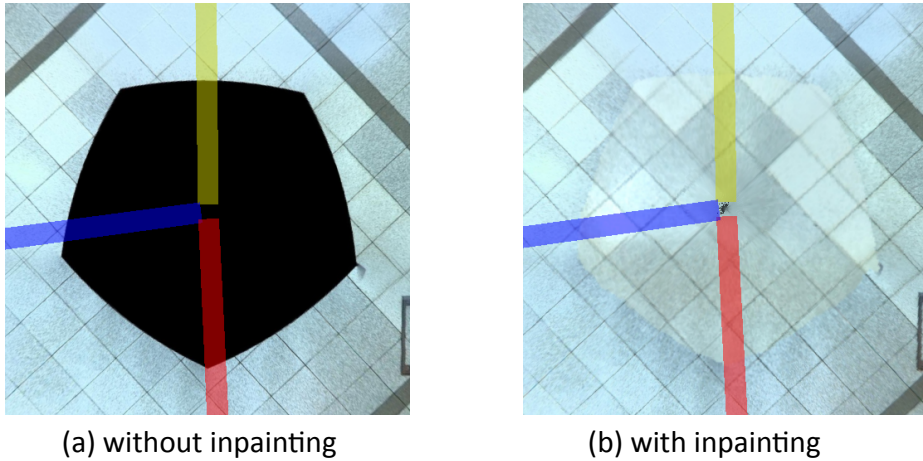


図 8 欠損領域補完結果

2.2 節でも議論した通りもう 1 つの主流な屋内手法であるビーコンやマーカを用いた手法は、インフラ構築コストが高く現実的ではない。その他の手法としては画像処理を活用することが考えられる。現地で撮影した映像と、既に蓄積されているパノラマ写真を照合することによって近しいパノラマ写真を得ることができる可能性がある。SIFT (Scale Invariant Feature Transform)<sup>11)</sup> や SURF (Speeded Up Robust Features)<sup>12)</sup> アルゴリズムを用いた画像特徴量によるテンプレートマッチングの有効性を今後検証したい。

#### 4. おわりに

地図に代わる直感的なナビゲーションシステム基盤としてパノラマビューアに着目した。パノラマビューアの構築にはパノラマ写真の撮影と撮影地点の同時記録が必要となる。屋外のパノラマビューア構築手法は確立しつつあるが、公共屋内空間での測位手法および、混雑エリアでの歩行者のプライバシーの考慮が課題となっていた。この課題に対して、一定時間滞在してパノラマ動画を撮影後、最も輝度の高いピクセルを選択することによってほとんどの歩行者を除去したパノラマ写真の合成を実現した。またその滞在時間を利用して人手によって地図上に正確な位置を記録するツールを作成し、撮影した全パノラマ写真に対して正確な位置を紐づけることができた。実験中に得られた Wi-Fi 基地局観測履歴を確認したところ、センサデータは Wi-Fi 測位に不十分であることを確認された。今後は携帯端末で撮



図 9 Wi-Fi 基地局観測状況

影した映像と、撮影済みのパノラマ写真のテンプレートマッチングによるその場のパノラマ写真の自動取得可能性を検証したい。

## 謝 辞

大阪・梅田周辺地下街のパノラマ撮影の機会を設けていただいた「地下街マップ検討協議会」に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) : Google Street View, [http://www.google.com/intl/en\\_us/help/maps/streetview/](http://www.google.com/intl/en_us/help/maps/streetview/).
- 2) : Bing Maps, <http://www.bing.com/maps/explore/>.
- 3) : earthmine, <http://www.earthmine.com/index>.
- 4) 西尾信彦, 坂本憲昭, 新井イスマイル: Google Street View とマッシュアップした実世界指向 CMS, インタラクシオン 2009 論文集, pp.77-78 (2009).
- 5) Nishio, N., Sakamoto, N. and Arai, I.: Real-World-oriented Contents Management System Mashed up with Google Street View, *Adjunct Proceedings of Pervasive 2009*, pp.269-272 (2009).
- 6) 七里 慶, 新井イスマイル, 西尾信彦: 異なる時間の写真をパッチング可能とする全方位パノラマビューアの開発, 情報処理学会第 72 回全国大会論文集 (分冊 3), pp.337-338 (2010).
- 7) Kawai, N., Machikita, K., Sato, T. and Yokoya, N.: Generation of an Omnidirectional Video without Invisible Areas Using Image Inpainting, *Proc. Asian Conf. on Computer Vision (ACCV)* (2009).
- 8) Cheng, Y., Chawathe, Y., LaMarca, A. and Krumm, J.: Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization, *Proceedings of Mobisys 2005*, pp.233-245 (2005).
- 9) Harter, A., Hopper, A., Steggle, P., Ward, A. and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'99*, pp.59-68 (1999).
- 10) : Yahoo!地図 (地下街), <http://map.yahoo.co.jp/chika>.
- 11) Lowe, D.G.: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110 (2004).
- 12) Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Gool, L.V.: SURF: Speeded Up Robust Features, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol.110, No.3, pp.346-259 (2008).